

30-0072/001

o. PROF. DR.-ING. DR.-ING. E. h. KARL KORDINA
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Lehrstuhl für Massivbau

TECHNISCHE UNIVERSITÄT
BRAUNSCHWEIG

Abbruch von Massivbauwerken
Informationsstudie

von

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. K. Kordina

Dr.-Ing. J. Steinert

Braunschweig, 1983

B I B L I O T H E K
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
der Technischen Universität Braunschweig
Beethovenstraße 52
D-3300 Braunschweig

30-0072

Die Untersuchungen wurden im Auftrag und mit finanzieller Unterstützung des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau durchgeführt: Akentzeichen: B I 5 - 80 01 81 - 35

Postsendungen:
3300 Braunschweig, Beethovenstraße 52
Fernschreiber: 9 52 698 ibstb d
Erfüllungsort und Gerichtsstand Braunschweig

Fernsprecher:
391 5411
Ortskennzahl 0531
Kommt keine Verbindung zustande
bitte 391 5431 wählen

Besuchszeiten:
Montag bis Freitag 9 - 16 Uhr

Kurzbericht

zum

Forschungsvorhaben : "Abbruch von Massivbauwerken"

Geschäftszeichen: B I 5 80 01 81 - 35

Durch die in letzter Zeit erfolgten Buchveröffentlichungen von

Osebold, R.: Abbruch von Massivbauwerken
und

Linder, R. : Schälen, Trennen und Abbrechen von Betonbauwerken

besteht ein hervorragender Überblick über den gegenwärtigen Stand der Verfahren zum Abbruch von Massivbauwerken. Daher konnte eine Informationsstudie dazu benutzt werden, das Verfahren von Hachemi, Murat und Cubaud zur elektrochemisch beschleunigten Korrosion der Bewehrung im Hinblick auf seine Eignung zum Abbruch von Stahlbetonbauteilen experimentell zu überprüfen.

Hierzu wurde auf kleine bewehrte Betonprismen eine Kochsalzlösung (Katode) getropft und mit Hilfe einer elektrischen Spannung von 100 V ein beschleunigter Transport von Chloridionen zur Oberfläche der Bewehrungsstähle (Anode) ausgelöst. Es zeigt sich, daß auf diese Weise eine außerordentlich heftige Stahlkorrosion erreicht werden kann, die bei Betondeckungen zwischen 20 und 50 mm innerhalb eines Zeitraumes von 6 Minuten bis 3 Stunden zur Rißentstehung im Beton führt. Die Festigkeit des Betons über der Bewehrung wird dabei um ca. 20 bis 35 % herabgesetzt. Auf der Oberfläche des Betons werden Temperaturen bis 80 °C erreicht. Der Widerstand des Betons vermindert sich auf weniger als den 400sten Teil seines Ausgangswertes. Die Rißerzeugung erfolgt um so schneller, je schneller die Widerstandsänderung (Anstieg des Stromes) erfolgt. Die zur Rißerzeugung aufzuwendende elektrische Arbeit lag bei den untersuchten Körpern unterhalb von 0,32 kWh. Die einzusetzende Kochsalzmenge betrug etwa 0,15 kg je m² Betonoberfläche.

- 2 -

Auf der Grundlage der elektrochemisch beschleunigten Korrosion könnte ein Verfahren entwickelt werden, das durch Rißbildung und Festigkeitsminderung über der Bewehrung zu wesentlichen Erleichterungen beim Abbruch hochbewehrter Stahlbetonbauteile führt. Das Verfahren ist geräuschlos und frei von Erschütterungen, Rauch und Staub; dabei relativ ungefährlich und auch kostengünstig. Der Hauptnachteil wird gegenwärtig in der Notwendigkeit gesehen, den endgültigen Abbruch mit konventionellen Verfahren durchzuführen.

DEMOLITION OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

Summary

Due to recent publications by

Osebold, R.: Abbruch von Massivbauwerken
and

Linder, R. : Schälen, Trennen und Abbrechen von Betonbauwerken

an excellent survey of the present state of methods for demolition of reinforced concrete structures is existing. Therefore this informational study could be used as a basis for an experimental investigation of electrochemically accelerated corrosion of the reinforcement - as reported by Hachemi, Murat and Cubaud - with respect to its applicability to the demolition of reinforced concrete structures.

NaCl was dropped on small test specimens (cathode) and, by the aid of voltage (100 V), an accelerated transport of chloride ions to the surface of the reinforcing steel (anode) was induced. Thus an extremely intense steel corrosion can be obtained which leads to formation of cracks in the concrete cover (20 to 50 mm thick) within a period of 6 minutes up to 3 hours. The loss of concrete strength was found up to 35 %. On the concrete surface temperatures up to 80 °C were measured. The electrical resistance of the concrete decreased in a ratio 400:1. The cracks were formed the earlier, the faster the electrical resistance (electrical current) changed. The electrical work necessary for the formation of cracks was below 0.32 kWh, approximately 0.15 kg NaCl per m² of concrete surface were required.

On the basis of electrochemically accelerated corrosion a method could be developed which, by means of formation of cracks and reduction of strength of the concrete cover, leads to essential facilities for the demolition of solid structural elements with strong reinforcement. The method is noiseless and free of vibrations, smoke and dust; it is relatively undangerous and also economic. The main disadvantage must at present be seen in the necessity to carry out the final demolition by conventional methods.

Einleitung

In den letzten Jahrzehnten wurden sowohl bei den Sprengverfahren als auch bei den sonstigen mechanischen Verfahren für den Abbruch von Massivbauwerken erhebliche Fortschritte erzielt. Die Spreng- und Trenngenaugigkeit wurde verbessert, der Aufgabenstellung entsprechendes Gerät entwickelt und den Belangen des Immissionsschutzes - soweit wie möglich - Rechnung getragen. Spezialverfahren für den Abbruch, wie etwa die thermischen und hydraulischen Trennverfahren (Sauerstoffflanze bzw. Spaltgeräte), sind heute als technisch ausgereift anzusehen.

Obwohl allein mit diesen Verfahren nahezu jedes Bauwerk abgebrochen werden kann, besteht die Notwendigkeit, weitere Methoden für den Abbruch von Massivbauwerken zu entwickeln, und zwar im wesentlichen aus drei Gründen:

1. Laut Schätzung des Europäischen Abbruchverbandes (EDA) wird die sich durch Abbruch ergebende Betonschuttmenge in der Bundesrepublik Deutschland von gegenwärtig 10 Mill.t auf 100 Mill.t bis zum Jahre 2010 anwachsen /2/. Der Anteil des Mauerwerksschuttes (Wohngebäude) an der Gesamtschuttmenge wird weiter zurückgehen und dafür werden die Abbruchmengen von Beton- und Stahlbetonbauten (Industrie- und Verkehrsbauten) zunehmen.
2. Es besteht weiterhin Interesse an kostengünstigen und zugleich hinsichtlich Lärm, Erschütterungen, Staub und Rauch immissionsarmen Abbruchverfahren.
3. Für den Abbruch von Kernkraftwerken sind wirtschaftliche Verfahren zu entwickeln, die möglichst fernsteuerbar sind und außerdem im geringstmöglichen Umfang zu einer Emission radioaktiv kontaminierter Stoffe führen.

Mit der vorliegenden Informationsstudie sollte ein Überblick über in der Literatur beschriebene neuartige Abbruchprinzipien, ihre Anwendungsbereiche und ihre Einflüsse auf die Umwelt gegeben und durch eine kritische Diskussion die Möglichkeit ihres konventionellen Einsatzes abgeschätzt werden.

In der Zeit zwischen Beantragung und Förderung dieser Studie sind jedoch drei Veröffentlichungen in den Buchhandel gelangt, die sich mit den kommerziell betriebenen, aber auch mit künftig möglich erscheinenden Verfahren zum Abbruch von Massivbauwerken befassen und einen breiten Überblick bieten:

- /1/ Albrecht, R.: Moderner Abbruch
- /2/ Osebold, R.: Abbruch von Massivbauwerken
- /3/ Linder, R.: Schälen, Trennen und Abbrechen von Betonbauteilen

Die Aktualität des Themas "Abbruch von Massivbauwerken" erhellt aber auch aus drei anderen umfassenden Arbeiten zu diesem Thema:

- /4/ Technische Information des wissenschaftlichen und technischen Zentrums für Bauwesen in Belgien
Les Techniques de Demolition des Ouvrages en Beton
- /5/ Kleiser, Essig, Cerrff und Hilsdorf:
Studie über den Abbruch von Spannbeton-Reaktordruckbehältern
- /6/ Spieß und Hohn:
Untersuchung geräuscharmer Verfahren zur Zerstörung von Mauerwerk und Beton als Alternative zum Sprengen mit Dynamit

Diese sechs umfangreichen Arbeiten über den Gesamtkomplex - Abbruchverfahren - Richtlinien - Wirtschaftlichkeit - Umweltschutz - enthalten zusammen rd. 500 Literaturzitate und stellen mit Sicherheit den gegenwärtigen Stand der Kenntnis über den Abbruch von Massivbauwerken dar.

Damit war ein wesentlicher Teil der Aufgabenstellung vorweggenommen, was aber die Möglichkeit eröffnete, ein bedeutsam erscheinendes elektrochemisches Verfahren in Tastversuchen nachzuvollziehen.

In Absprache mit dem Auftraggeber wurde von einer nochmaligen Auswertung dieser Literatur abgesehen und statt dessen das Verfahren von Hachemi et al. /7/ zur Rißbildung infolge beschleunigter Stahlkorrosion experimentell überprüft.

Im folgenden Teil I werden die Arbeiten von Osebold und Linder tabellarisch ausgewertet und auf neue, noch nicht kommerziell genutzte Abbruchprinzipien und Verfahren hingewiesen. Im Teil II werden experimentelle Vor-Untersuchungen zum elektrochemischen Abbruch von Stahlbetonkonstruktionen und ihre Ergebnisse dargelegt.

Teil I: Literaturstudie

1. Abbruchprinzipien und Abbruchverfahren

Der Abbruch umfaßt alle Verfahren zur Beseitigung von baulichen Anlagen, Bauwerken oder Bauwerksteilen bei Umbauten oder Sanierungen.

Die Wahl der Abbruchmethode hängt ab von

- Beschaffenheit des Bauwerks (Zustand, Alter, Standsicherheit)
- Untergrund
- Platzverhältnissen
- Art, Menge und Anordnung der Baustoffe
- zur Verfügung stehenden finanziellen Mitteln
- Anforderungen an den Immissionsschutz.

Die einzelnen Bauarten unterscheiden sich erheblich durch die Festigkeit ihrer Baustoffe. Dabei nimmt der Stahlbetonbau insofern eine Sonderstellung ein, als es üblicherweise mit keiner der bekannten Methoden gelingt, das Zertrümmern eines Stahlbetonbauwerks in einem Arbeitsgang herbeizuführen. Stets erfordert der Abbruch von Stahlbetonbauten eine örtliche Zerstörung des Betons und zusätzlich das Herausarbeiten der Bewehrung, wobei massige Bauteile in gut handhabbare Trümmer zerlegt werden.

Der Deutsche Abbruchverband e.V. unterscheidet in seinen Allgemeinen Technischen Vorschriften (ATV) für Abbrucharbeiten, Fassung Nr. November 1978 sowie in der Schriftenreihe der Bau-Berufsgenossenschaften Nr. 421, Ausgabe 1981: Sicherheit bei Abbrucharbeiten, zwischen folgenden Abbruchverfahren:

Abtragen: Schichtenweises Abbrechen von Mauerwerk, Beton u.a. Baustoffen.

Abtragen hat in umgekehrter Reihenfolge wie das Errichten des Bauwerkes zu erfolgen. Anwendung dann, wenn durch angrenzende Bebauung oder Verkehrswege andere Abbruchmethoden wegen Erschütterung, Gefährdung oder Beschädigung nicht möglich sind.

Abgreifen: Abtragen von Bauwerksteilen mittels Greifer von oben nach unten, sofern Baustoff, Bauart und Bauzustand u.a. Gesichtspunkte diese Methode zulassen.

Einschlagen: Zerstören von Bauteilen unter Zuhilfenahme stählerner Fallbirnen.

Eindrücken: Bauwerksteile werden mit Hilfe hydraulisch betriebener Geräte zum Einsturz gebracht.

Einreißen: Umziehen zusammenhängender mehr oder weniger großer Bauwerksteile durch Seilzug.

Demontieren: Auseinandernehmen von Konstruktionsteilen einer baulichen Anlage in umgekehrter Reihenfolge wie bei der Montage - durch Lösen der Verbindungen oder Abtrennen durch Sägen oder autogenes Schweißen.

Sprengen: Bauliche Anlagen werden mit Hilfe von Sprengladungen in Teile zerlegt oder zum Einsturz gebracht. Dabei wird unterschieden zwischen

Lockerungssprengungen: sollen leichteres Abtragen oder Abgreifen begünstigen,

Zertrümmerungssprengungen: sollen ein Bauwerk insgesamt oder selbständige bzw. abgetrennte Teile davon, zum Einsturz bringen.

Thermisches Trennen: Schmelzen von Baustoffen bei Wärmegraden von 2000 bis 3000 °C mittels stählerner Kernlanzen.

Mit diesen Methoden und den Aspekten ihrer Durchführung befaßt sich Albrecht /1/. Diese Arbeit ist praktisch ein Fachbuch für das Abbruchgewerbe. Dementsprechend ist der Rahmen weit gespannt, von der behördlichen Abbruchgenehmigung über Ausschreibung, Abbruchmethoden und Abrechnung bis zur Baustellenbeschilderung und Verkehrsumleitung. Praktische Beispiele werden zum mechanischen Abtragen, hydraulischen Steinspalten, Sprengen und Betonschmelzen gegeben.

Die vom ATV erfaßten Abbruchverfahren sind die wesentlichen und kommerziell genutzten Verfahren; Verfahren, die auf neueren Prinzipien beruhen, werden ausnahmslos nicht gewerbsmäßig ausgeführt.

2. Eignung, Umweltbelastung und Effektivität herkömmlicher Abbruchverfahren
- Auswertung der Arbeiten von Osebold /2/ und Linder /3/ -

2.1 R. Osebold: Abbruch von Massivbauwerken

Der Schwerpunkt des Buches liegt auf Angaben, die die Auswahl von Abbruch-Verfahren unter dem Aspekt ihrer Wirtschaftlichkeit ermöglichen. Zahlreiche Diagramme wurden erarbeitet, die die Kosten-Leistungs-Verhältnisse für unterschiedliche Geräte beleuchten.

Unter diesem Aspekt ist die Arbeit umfassend, übersichtlich und detailliert.

Im wesentlichen erfolgt eine Beschränkung auf konventionelle, ausgereifte Verfahren. Nur kurz behandelt werden das Bohren mit elektrischen Lichtbögen oder Raketenbrennern, Trennen mit Laser- oder Elektronenstrahlung und hydraulisches Schneiden. Das Buch enthält kaum Hinweise auf besondere Probleme beim Kernkraftwerk-Abbruch; die Staubentwicklung der verschiedenen Verfahren wird behandelt, nicht jedoch Fragen der Fernsteuerbarkeit oder der radioaktiven Kontaminierung.

Kein Stichwortverzeichnis, Literaturverzeichnis mit 41 Zitaten, davon 23 Zitate verschiedene Abbruchverfahren betreffend.

Eine komprimierte Auswertung der Arbeit zeigt Tabelle 1.

Tabelle 1 siehe Blatt 7

Tabelle 1: Beurteilung der Abbruchverfahren nach Osebold /2/

Verfahren	Eignung für Stahlbeton stark bewehrt Stahlbeton schwach bewehrt Beton unbewehrt Mischbauten Mauerwerk	max. Dicke in m	Umweltbelastung durch Sand Wasser Hitze Rauch, Gase Erschütterungen Staub Lärm	Aufwand Materialverbrauch Geräte (Invest.) Personal	Effektivität bei Beton und Stahlbeton a) m^3/h für Abbrechen und Laden b) m^2/h für Trennen	Kosten bei Beton und Stahlbeton a) DM/m^3 für Abbrechen und Laden b) DM/m^2 für Trennen	Bemerkungen siehe Fußnoten
Abtragen m. handgef. Werkz.	X X	-	X X X	+	0,05... 0,3 a)	200...1200 a)	
Abtragen m. Werkz. an Trägerger.	X X X X X	-	X X X	- +	1 ... 8 a)	60... 180 a)	
Abgreifen	X X	-	X X	- +	9 ...13 a)	20... 30 a)	1)
Einschlagen	X X X X X	1	X X X	- +	3 ...13 a)	30... 110 a)	
Eindrücken	X X	0,6	X X	- +	4 ... 9 a)	30... 60 a)	1)
Einreißen	X X X X	0,6	X X X	+ +	5 ...10 a)	30... 60 a)	1)
Sprengen m. Explosivstoffen	X X X X X	-	X X X X	- -	-	50... 300 a)	2)
Sprengen hydraulisch	X X	-		- -	-	-	
Sägen	X X X X X	0,8	X X	+ +	0,2 ... 0,9 b)	400...1200 b)	
Kernbohren	X X X X X	-	X	+ +	0,1 ... 2,0 b)	1500...3300 b)	
Sauerstoff-Kernlanze	X X X X X	1,2	X X	+ - +	0,15... 0,3 b)	800...1400 b)	3)
Pulverschneidbrenner	X X X X X	1	X X X	+ + +	0,25... 0,45 b)	800...1400 b)	3)
Plasmabrenner	Metalle	-	X X X X	+ + +			
Thermit	Stahl	-	X	+ - -			
Hochdruck-Wasserstrahl	X X X	0,35	X X X	+ +			

1) Effektivität und Kosten gelten nur für unbewehrten Beton, $s \leq 0,2$ m

2) Kosten pro m^3 sinken mit zunehmender Bauteildicke

3) Effektivität steigt, Kosten sinken mit zunehmendem Bewehrungsgrad

2.2 R. Linder: Schälen, Trennen und Abbrechen von Betonbauteilen

Der Schwerpunkt dieses Buches liegt auf technischen Details der Abbruchverfahren. Angaben zu Leistung, Kosten und Wirtschaftlichkeit erfolgen eher pauschal, weniger differenziert im Hinblick auf die jeweiligen Randbedingungen, auch sind sie nicht immer vollständig vorhanden.

Linder beschränkt sich ebenfalls im wesentlichen auf konventionelle, ausgereifte Verfahren, jedoch befassen sich einige Kapitel mit dem Abbruch von Kernkraftwerken, Spannbetonbauten und Brücken, der Wiederverwendung des Abbruchgutes und in der Entwicklung befindlichen Verfahren.

Die Arbeit ist eine wichtige Ergänzung zu dem Buch von Osebold.

Stichwortverzeichnis, Hersteller-Anschriften, umfangreiches Literaturverzeichnis mit 118 Zitaten, davon etwa 50 unterschiedliche Abbruchverfahren betreffend.

Eine komprimierte Auswertung der Arbeit zeigt Tabelle 2.

Tabelle 2 siehe Blatt 9

Tabelle 2: Beurteilung der Abbruchverfahren nach Linder /3/

Verfahren	Eignung für		Abhängigkeit von Ver- und Entsorgung	Aufwand für	Umweltbelastung durch	Effektivität bei Beton und Stahlbeton	Kosten bei Beton und Stahlbeton	Bemerkungen siehe Fußnoten
	Spannbeton tumartig stabförmig flächig massig, z.B. Mauern massig, z.B.unker	Dicke in mm von bis						
Stemmen (m. Abbauhammer)	x x + +	0,5	+ x	x -	x + +	0,60...0,85 a)	200...800 a)	
Großmeißel	+ x + +	0,65	+ +	+ +	x + +	2...10 a)		
Einschlagen (Birne)		0,45		- +				
Nibbler		0,4				~ 100 b)		
Sprengen m. Explosivstoffen	x + x x +	0,4 3	+ +	- +	+ x + x		~ 350 a)	3)
Sprengen hydraul. ("Spalten")	+ x + + +	0,4 1	+ +	+ -	+ +		100...500 a)	
Sägen	x x	- 0,5	x x o o	+ +	x	0,5 ...1,8 b)	~ 1000 b)	2), 4)
Kernbohren	x	0,25 0,75	x x o o	+ +	+ +			2)
therm. Schneiden	+ x x + x	0,25 1	x x	+ x	x + x	0,2 ...0,6 b)	1300...1500 b)	1), 2)
Hochdruck-Wasserstrahl							~ 1500 b)	

- 1) fernbedienbar, Eignung für KKW
- 2) Anwendung unter Wasser möglich
- 3) nur 1 Beispiel für Kosten (Gesamtkosten einschl. aller Nebenarbeiten)
- 4) Kosten ohne Nachzerkleinern und Laden
- 5) Umfang der eingeschlossenen Vor-, Neben- und Nacharbeiten oft unklar!

Bewertung

- x sehr gut oder sehr hoch
- + mittel
- o alternativ
- gering

3. Hinweise auf seltener benutzte oder in der Entwicklung befindliche Abbruchverfahren

Eine tabellarische Übersicht über die Abbruchverfahren mit Angabe der Zerstörungsmechanismen und der zum Einsatz kommenden Geräte und Maschinen findet sich bei Osebold /2/ und bei Kuhne und Osebold /9/. Darin - und in /3, 6/ - sind auch weniger geläufige, aber bereits auf die spezielle Aufgabenstellung untersuchte und teilweise im Einsatz befindliche Verfahren und Geräte aufgeführt, vgl. Tabelle 3, wie z.B.

Thermisches Trennen	mit Plasmabrennern /4, 5, 14/ Thermit-Schmelzen elektrischen Lichtbögen (Raketenstrahlbrennern) (Lasern /4/) (Elektronenstrahlen) (Infrarotstrahlung) (Mikrowellen /11/) elektrischen Strömen oder magnetischen Feldern /4, 5/ durch Erzeugung Ohmscher /12, 13/, induktiver oder kapazitiver Verlustwärme
---------------------	--

Hydraulisches Trennen	mit Hochgeschwindigkeitswasserwerfern und Wasserkanonnen
-----------------------	---

Nur bei den nicht eingeklammerten Verfahren wird eine Möglichkeit der Einführung in den gewerblichen Bereich gesehen. Bei den anderen Verfahren sind vielfach hohe Investitionskosten und wissenschaftlich geschultes Fachpersonal erforderlich, außerdem sind die Geräte für den Baustelleneinsatz nicht robust genug und weder universell noch ausschließlich für den Abbruch einsetzbar. Vielfach bestehen auch Bedenken im Hinblick auf eine Störung des Fernsprechverkehrs, des Fernsehens und des Rundfunks /4/.

Da all diese Verfahren in der zitierten Literatur eingehend beschrieben und sachgerecht gewürdigt sind, wird hier auf eine zusätzliche Besprechung verzichtet.

	Zerstörungs- mechanismen	Verfahren	zum Einsatz kommende Geräte und Maschinen
Mechanische Verfahren	Erzeugung von Momenten, Zug- und Scherspannungen durch statische und dynamische Belastung der Bauteile	Abtragen	- mit handgeführten Werkzeugen - mit Werkzeugen an Trägergeräten
		Abgreifen	- mit Greifern
		Einschlagen	- mit Gewichten
		Eindrücken	- mit Stoßarmen
		Einreißen	- mit Seilzug oder Gerätehydraulik
		Sprengen	- mit Explosivstoffen - mit hydraulischen Spaltgeräten
	Schleifen, Zerspanen	Sägen	- mit Kreissägen - mit Stichsägen - mit Seilsägen
	Schleifen, Zerspanen, Abscheren	Bohren	- mit Vollbohrern, Schlagbohrern - mit Kernbohrern
Thermische Verfahren	Direkte Erhitzung (Wärmeleitung und Strahlung) bewirkt Rißbildung, Absplitterung, Schmelzvorgang, Verdampfung	Thermisches Trennen	- mit Sauerstoffkernlanzen - mit Pulverschneidbrennern - mit Plasmabrennern - mit Thermit-Schmelzen - mit elektr. Lichtbögen - mit Raketenstrahlbrennern
	Energiereiche Strahlung	Thermisches Trennen	- mit Laser - mit Elektronenstrahl - mit Infrarot
	Elektromagnetische Energie	Thermisches Trennen	- mit fließenden Strömen - mit Kondensatoren - mit Mikrowellen - mit Magnetfeldern
Hydraulische Verfahren	Auswaschen, Kavitation, Geschoßeffect	Hydraulisches Schneiden	- mit Hochgeschwindigkeitswasserwerfern - mit Wasserkanonen
Ultraschall- Verfahren	Kavitation, Erosion, Zug- und Druckkräfte		

Abbruchverfahren, geordnet nach ihrer Zerstörungsweise und den zum Einsatz kommenden Geräten und Maschinen /2, 9/

Zu wenig gewürdigt werden u.E. die folgenden Verfahren, die sich in der Zukunft für spezielle Anwendungen als so interessant erweisen könnten, daß ihre weitere Entwicklung lohnend erscheint. Für das Abbruchgewerbe werden sie, insbesondere die beiden letztgenannten Verfahren, allerdings zunächst kaum Bedeutung erlangen.

1. mechanisches Spalten mit chemischem Keil (BRISTAR-Verfahren) /8, 3/, siehe Teil II
2. mechanisches Spalten durch elektrochemisch beschleunigte Korrosion /7, 4, 3, 10, 11/, siehe Teil II
3. Rißerzeugung und Betonerosion durch chemische Reaktionen /6, 15, 16, 17, 18/.

Des weiteren finden sich in der Literatur noch Überlegungen zum Einsatz von Ultraschall oder Wärmedurchschlag /4, 6/ und zur Anwendung der Kernenergie /10/, zur Zerstörung von Beton- und Stahlbeton-Bauteilen.

Die Überlegungen zur beschleunigten Betonerosion oder zu einer von der Oberfläche fortschreitenden Rißerzeugung in das Innere des Betons beruhen sämtlich auf einem gezielten Einsatz der bekannten betonschädlichen Stoffe.

Hierfür geeignet erscheinen /16/ insbesondere chlorid- und sulfathaltige und auch einige organische Stoffe.

Säuren: HCl , HNO_3 , H_2SO_4 und H_2SO_3

Bei Vorhandensein von Sulfat-Ionen werden zusätzliche Treiberscheinungen in Gang gesetzt (Sprengung durch Kristallisationsdruck), insbesondere bei Eindringung flüssiger Sulfatverbindungen.

Laugen: NaOH bei starker Konzentration (40 %)

Salze: NH_4Cl

Ester: aliphatische Ester, vor allem Weichmacher (Phatalsäureester)

/17/: Vor allem Fettsäureester mit niedrigem Fettsäurerest vermögen bereits nach ein bis zwei Jahren starke Zerstörungen auszulösen. In einem Fall konnten Pumpenfundamente mit der Schaufel abgetragen werden.

Die chemische Industrie /18/ wäre bereit, sich mit wissenschaftlichen Untersuchungen technisch brauchbarer Anwendungsverfahren zum Abbruch von Beton mit betonschädlichen Mitteln zu befassen. Allerdings scheint ein "chemischer Abbruch" allein wenig aussichtsreich, weil er normalerweise zu langsam abläuft und vermutlich wenig umweltfreundlich ist, obwohl hierbei keine Geräusche und Erschütterungen und kein Staub oder Rauch auftreten. Hingegen kann als Vorteil angesehen werden, daß die bei der Zerstörung des alkalischen Zementsteins entstehenden Reaktionsprodukte i.a. wasserlöslich sind.

Teil II: Untersuchungen zur elektrochemisch beschleunigten Korrosion der Bewehrung

1. Stand der Kenntnisse

Versuche zur Beschleunigung der Korrosion der Bewehrung in Stahlbeton sind bisher von Hachemi, Murat und Cubaud /7/ durchgeführt worden:

Betonprobekörper mit Stahleinlagen wurden mit Salzlösungen (NaCl , KCl , Na_2SO_4 , K_2SO_4 , NH_4NO_3) getränkt. Durch Anlegen einer Spannung wird ein elektrolytischer Vorgang eingeleitet, der zu einer beschleunigten, mit Volumenvergrößerung verbundenen Korrosion der Bewehrung führt. Hierdurch werden bereits nach kurzer Zeit Risse im Beton erzeugt.

Es konnte gezeigt werden, daß die Rißentstehung eng mit der Bildung wasserhaltiger Eisenoxide in der Verbundzone von Stahl und Beton zusammenhängt, deren Molvolumen - bei $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 3,7 mal und bei $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 3,05 mal - größer ist als das des Stahles. Durch elektronenmikroskopische Untersuchungen konnten sternförmige Kristallbildungen nachgewiesen werden, die von wesentlich anderer Struktur als der gewöhnliche Rost sind und in den umgebenden Zementstein hineinwachsen.

Die Masse der gebildeten Korrosionsprodukte hängt ab von der Zusammensetzung der angewendeten Salzlösung und steigt mit der zugeführten Elektrizitätsmenge.

Die kleinste zur Bildung des ersten makroskopischen Risses erforderliche Elektrizitätsmenge wurde ermittelt. Die zur Rißerzeugung benötigte Arbeit kann durch Reaktionsbeschleuniger (H_2O_2) beeinflußt werden.

Die Art der Versuchsdurchführung geht aus Bild 1 und Bild 2 hervor.

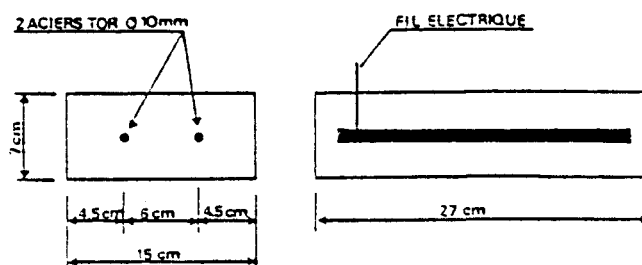


Bild 1: Versuchskörper

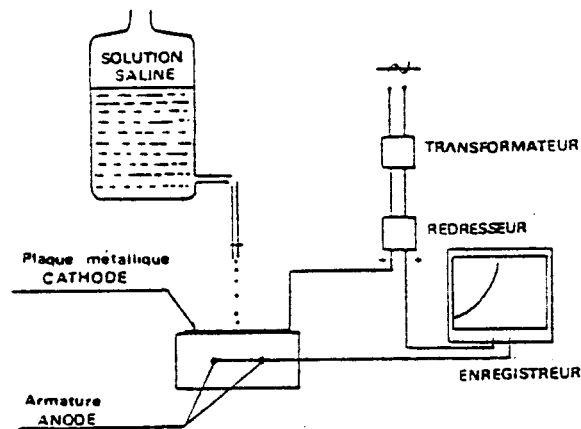


Bild 2: Versuchsanordnung

Die wichtigsten Ergebnisse sind folgende:

Die Ausbeute an Korrosionsprodukten

- ist bei Verwendung von 1 bis 2 molarer NaCl-Lösung von allen untersuchten Salzlösungen am höchsten und
- kann durch Zugabe von 20 bis 30 cm³ H₂O₂ pro l NaCl-Lösung gesteigert werden.

Der elektrische Widerstand der Prüfkörper hängt praktisch nicht von der Fläche der Kathode ab.

Die Leitfähigkeit nimmt nur geringfügig mit der Konzentration der Salzlösung zu ($C \geq 0,4$ molare Lösung)

Diese Untersuchungen wurden im Rahmen der vorgelegten Studie nachvollzogen, um zu erkennen, in welcher Art, in welchem Umfang und nach welcher Zeit Rißbildungen auftreten.

2. Probekörper und Elektrolyt

Es wurden Prüfkörper der in Bild 3 dargestellten Art verwendet: Prismen in den Abmessungen 270 mm x 150 mm x 90 mm, die auf ihrer Oberfläche zur Aufnahme der Salzlösung eine wannenartige Vertiefung aufweisen.

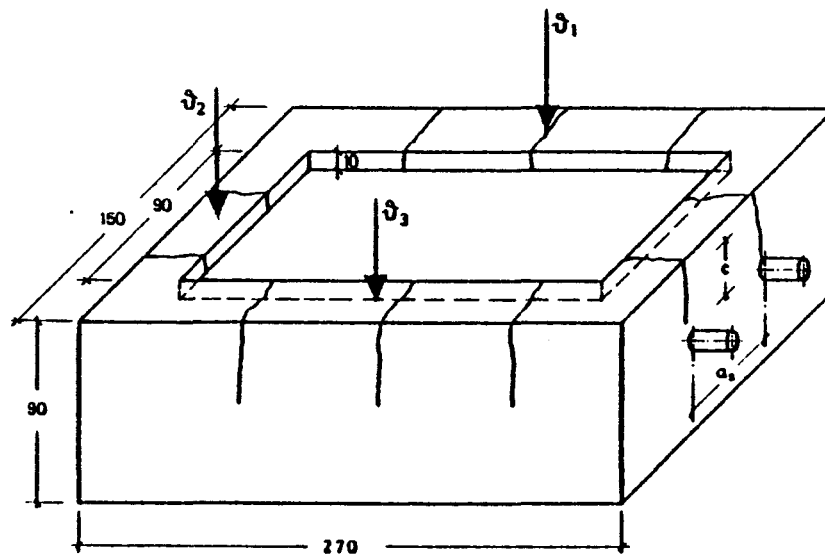


Bild 3: Prüfkörper

Insgesamt wurden 16 Prüfkörper aus einem porenreichen Beton mit unterschiedlicher Bewehrung aus fünf Betonmischungen nach derselben Rezeptur hergestellt:

Mischungsbestandteile

Zement PZ 35 F	240 kg/m ³
Zuschlag	1830 kg/m ³
Wasser	210 kg/m ³
W/Z	0,88
Sieblinie	B 16

Frischbetonwerte

Ausbreitmaß	40,0...44,5 cm
Verdichtungsmaß	1,04...1,08

Festbetonwerte

Druckfestigkeit nach 28 Tagen	34 N/mm ²
Prüfalter	rd. 150 Tage

Die Bewehrung, Stahlabschnitte der Güte 420/500 RK, wurde nach Anzahl, Mittenabstand und Betondeckung variiert, s. Tabelle 4.

Die Salzlösung (Elektrolyt) wurde entsprechend den optimalen Versuchsergebnissen von Hachemi et al. zusammengesetzt: 10 %-ige NaCl-Lösung mit 3 % H₂O₂-Anteil.

3. Versuchsdurchführung

In die Vertiefung auf der Oberfläche der Prüfkörper wurde auf Vliespapier eine bestimmte Mindestmenge der Salzlösung eingetropft, siehe Tabelle 4, und in diese Lösung eine Stahlplatte als Katode eingelegt und an eine Gleichspannung von 102 ± 1 V angeschlossen. Die untereinander i.a. verbundenen Bewehrungsstäbe bildeten die Anode.

Bei den meisten Prüfkörpern wurde außer dem Strom die Oberflächentemperatur an drei Stellen in Abhängigkeit von der Zeit ermittelt, siehe Bild 3. Die Rißentstehung wurde durch Absuchen der Prüfkörperoberfläche mit einer Lupe beobachtet.

Angaben zur Versuchsdurchführung sind in Tabelle 4 enthalten. Die Prüfanordnung ist aus Bild 10 ersichtlich.

Die Prüfkörper 1, 6 und 12 wurden nicht elektrochemisch beansprucht, sondern zum Vergleich der Spaltzugfestigkeit nur mechanisch geprüft.

Der Prüfkörper 9 wurde an einem der herausragenden Stahlenden mit einem Brenner solange erhitzt, bis die Betonoberfläche eine Temperatur von 70°C angenommen hatte, was allerdings nur in Nähe des beflamnten Endes gelang. Dieser Versuch sollte bestätigen, daß für die Rißbildung nicht die mit der Elektrolyse einhergehenden Erwärmungsvorgänge ursächlich sind. Dementsprechend wurde auch keine Stahlkorrosion bewirkt.

Bei den Prüfkörpern 3 und 8 wurden die beiden herausragenden Stähle als Katode bzw. Anode an die Spannungsquelle angeschlossen, dabei die Salzlösung jedoch in der vorgenannten Weise eingebracht. Damit wird die Elektrolyse kaum verlangsamt, siehe Bild 7. Die Korrosion findet nur an dem als Anode dienenden Stahl statt, jedoch mit derselben Heftigkeit wie bei Anordnung der Katode auf oder außerhalb des Prüfkörpers, siehe Bild 13.

Der Prüfkörper 14 wurde zusammen mit der Katode in einer Schale liegend so angeordnet, daß die Prüfkörper-Unterseite lediglich über maximal 10 mm Höhe von der Salzlösung benetzt wurde. Damit ist de facto eine Betondeckung von 50 mm vorhanden, was ebenfalls zu einem langsameren Verlauf des Korrosions- und Rißbildungsvorganges geführt hat, siehe Bild 9 und vgl. Prüfkörper 10, Bild 8.

Tabelle 4: Prüfkörper und Versuchsdurchführung

1	2	3	4	5	6	7	8
Prüfkörper	Anzahl der Stähle	Stahl-Mitten-abstand a_s in mm	Beton-deckung ¹⁾ c in mm	Durchgeführte Prüfungen siehe Legende	Prüfkörper-Befeuchtung ²⁾ Salzlösung		
					anfangs in ml	gesamt in ml	H ₂ O gesamt in ml
1	2	60	10	-	-	-	-
2	2	60	10	a	60	100	454
3	2	60	10	b + e	30	90	130
4	2	60	20	a	60	60	680
5	2	62	20	a ³⁾ + f	60 ³⁾	60 ³⁾	480
6	2	60	20	-	-	-	-
7	2	60	30	a + d	30	42	120
8	2	60	30	b + e	32	32	446
9	2	60	30	g + d	-	-	-
10	2	58	40	a	60	60	330
11	2	58	40	a ⁴⁾	60	60	40
12	2	58	40	-	-	-	-
13	3	29	22	a	60	60	720
14	3	48	22	c	nicht ermittelt		
15	4	30	22	a	60	60	700
16	7	20	22	a	60	140	580

¹⁾ bezogen auf die vertiefte Oberfläche

²⁾ Prüfkörperfläche 0,02 m²

³⁾ halbe Konzentration, also 30 ml Prüfsalzlösung + 30 ml Aqua dest.

⁴⁾ mit halber Spannung beansprucht: U = 52 V

Legende zu Spalte 5:

a: elektrochemische Prüfung: Prüfkörper liegend: Katode = Stahlblech in Vertiefung

b: elektrochemische Prüfung: Prüfkörper liegend: Katode einer der Bewehrungsstähle

c: elektrochemische Prüfung: Prüfkörper in Salzlösung liegend ($c_{eff} = 50$ mm): Katodenblech in Salzlösung hängend

d: 200 Frost-Tau-Wechsel

e: Nach Korrosionsversuch 28 Tage Lagerung in 10 %iger Salzlösung

f: Nach Korrosionsversuch Spaltversuch mit "BRISTAR"

g: Erwärmungsversuch mit offener Flamme

-: keine elektrochemische Prüfung: Vergleichskörper für "Spaltzugfestigkeit"

Der Prüfkörper 5 wurde mit halber Salz-/Peroxid-Konzentration geprüft und nach Abschluß der Untersuchung mit dem "Sprengstoff" BRISTAR aufgespalten, ebenso wie versuchsweise einige 5 cm-Würfel, siehe Bild 11.

Der Körper 11 wurde nur mit halber Spannung geprüft; Ergebnis: keine Rißbildung innerhalb der Beobachtungsdauer.

Im Anschluß an die vorgenannten Untersuchungen wurden die

- Prüfkörper 3 und 8 über 28 Tage in einer 10 %-igen Kochsalzlösung gelagert um festzustellen, inwieweit hierdurch die Stahlkorrosion verstärkt wird.

- Prüfkörper 7 und 9 über 200 Frost-Tau-Wechsel einer Frostbeständigkeitsprüfung nach DIN 105 unterworfen, um zu erkennen, wie sich der Beton im Anschluß an den Korrosionsversuch verhält und insbesondere, ob die i.a. sehr schmalen Risse auf diese Weise aufgeweitet werden können und inwieweit die Korrosion hierdurch noch gefördert wird.

4. Versuchsbeobachtungen

Einige typische Beispiele für den Versuchsablauf sind in den Diagrammen Bild 4 bis 9 zusammengestellt. Aufgetragen sind jeweils Strom $I(t)$ und Temperatur $\vartheta(t)$. Die Zeitpunkte der Rißentstehung sind als Parallelen zur Ordinatenachse hervorgehoben.

Unterhalb der Abszissenachse ist als Befeuchtungsmenge diejenige Menge Salzlösung oder destilliertes Wasser angegeben, die zur Aufrechterhaltung der Elektrolyse aufgewendet werden mußte. Die Befeuchtung muß ständig kontrolliert werden: Der Strom bricht innerhalb weniger Minuten zusammen, wenn wegen der hohen Temperaturen das Bauteil-Innere austrocknet. Somit ist der Strom eine Kontrollgröße für den Korrosionsfortschritt, siehe z.B. Bild 6.

Die Konzentration der Salzlösung darf am Beginn der Elektrolyse einen bestimmten Wert nicht unterschreiten, um eine schnelle Korrosion zu bewirken. Andererseits darf während der Elektrolyse die Konzentration der Salzlösung einen bestimmten Wert nicht überschreiten, da sonst eine Salzausfällung und Verkrustung eintritt, die der flüssigen Phase den Weg ins Innere des Prüfkörpers versperrt.

Die in Bild 3 angedeuteten Risse sollen die im allgemeinen beobachteten Orte der Rißentstehung zeigen. Die Risse verliefen üblicherweise nicht bis über die Bewehrungsebene hinaus. Nicht immer konnten alle skizzierten Risse festgestellt werden. Über die angegebene Zeitdauer hinaus traten zusätzliche Risse nicht auf.

Nach Entstehung der ersten Risse kam es i.a. unter Blasenbildung zum Feuchtheitsaustritt an den aus der Betonoberfläche ragenden Enden der Bewehrungsstäbe, teilweise mit Ausscheidung von Korrosionsprodukten.

Die Vertiefung in der Oberfläche der Prüfkörper, die vor allem als Speichervolumen für die Salzlösung gedacht war, brachte den Nachteil mit sich, daß die Spaltzugfestigkeit längs der Stähle, als ein Maß für die Festigkeitsminderung nach Versuchsende, nur ungenau ermittelt werden konnte: Entweder nur über die kürzere Länge der Vertiefung oder über die gesamte Körperlänge, wozu es notwendig war, die Vertiefung mit Filzstreifen auszupolstern, was eine ungleichmäßige Auflage zur Folge hatte. Hinzu kommt, daß wegen des korrosionsbedingten Rißverlaufs überwiegend senkrecht zur Stahllängsrichtung bei der Spaltzugprüfung die Bruchflächen häufig bereichsweise nicht in der Beanspruchungsrichtung längs der Stachse verliefen.

5. Versuchsergebnisse

Als Prüfergebnisse sind in Tabelle 5 zusammengestellt:

- die Anzahl der im Versuchskörper erzeugten Risse,
- die Zeitspanne von Versuchsbeginn bis zum Beobachten des ersten Risses,
- der Strom bei Eintritt des ersten Risses,
- die Elektrizitätsmenge $Q = \int I(t) dt$
 - bis zum Eintritt des ersten Risses
 - bis zum Eintritt des zuletzt entstandenen Risses

Entsprechend dem ersten Faradayschen Gesetz der Elektrolyse sind die beim Stromdurchgang durch einen Elektrolyten an Katode und Anode abgeschiedenen Stoffmengen der Stromstärke und der Zeit proportional. Somit ist das Integral $\int I(t) dt$ als Maß für die Elektrizitätsmenge zugleich das Maß für die Menge der gebildeten Korrosionsprodukte

- die Zeitspanne bis zum Austritt der Salzlösung aus der Schnittfläche Prüfkörper-Oberfläche/Bewehrungsstab-Oberfläche,
- die qualitative Beurteilung der Korrosion nach Aufbrechen der Prüfkörper längs der Bewehrungsstähle,
- die näherungsweise "Spaltzugfestigkeit" bei dem o.g. Freilegen der Bewehrungsstähle.

Tabelle 5: Prüfergebnisse

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Prüfkörper	Anzahl der Risse	Zeitspanne bis zum 1. Riß in min	Strom bei Rißeintritt in A	Elektrizitätsmenge bis zum 1. Riß bis zum letzten Riß in Ah		Blasen- bildung ab in min	Qualitative Beurteilung der Korrosion	Spaltzug- ⁵⁾ festigkeit (Näherung) in N/mm ²
1	-	-	-	-	-	-	-	<u>2,05</u>
2	4	25	2,60	1,04	3,68	105	stark	<u>1,88</u>
3	1	18	1,30	0,20	-	29	stark ³⁾	<u>2,15...2,87</u>
4	5	32	1,66	0,59	9,66	92	mittel	<u>2,03...2,17</u>
5	4	85	2,26	1,94	5,39	95	- ¹⁾	- ¹⁾
6	-	-	-	-	-	-	-	<u>2,57</u>
7	6	19	3,50	0,92	1,65	14	stark ²⁾	<u>0</u> ²⁾
8	4	40	1,75	1,03	3,98	14	stark ³⁾	<u>1,75...2,07</u>
9	0	-	-	-	-	-	keine	<u>1,62</u> ⁴⁾
10	3	177	1,52	3,10	6,30	213	mittel	<u>1,71...2,34</u>
11	0	-	(<u><0,44</u>)	(<u><2,52</u>)	-	keine	schwach	<u>1,62...1,73</u>
12	-	-	-	-	-	-	-	<u>2,82</u>
13	> 8	22	1,50	0,37	1,81	60	stark	<u>1,36...1,90</u>
14	8	110	0,87	1,02	4,60	340	mittel	<u>1,69...2,59</u>
15	4	37	1,94	0,66	1,57	83	stark	<u>1,59...1,89</u>
16	5	6	0,55	0,032	4,10	118	mittel bis stark	<u>1,90...2,55</u>

1) mittig gespalten mit BRISTAR

2) nach Frost-Tau-Wechselbeanspruchung:
Versuchskörper nahezu zerfallen

3) nur Anode, Prüfmart b gemäß Tab. 4
in Spalte 9: kleinerer Wert für korrodierten Stahl

4) nicht längs Stahl beansprucht, sondern mittiger Bruch

5) Die unterstrichenen Werte gelten für die 1. Prüfung;
bei der 2. Prüfung über einen benachbarten Stahl wird
der Restkörper i.a. vorgeschädigt gewesen sein.

Zusammenfassend lassen sich anhand der vorgenannten Daten folgende Feststellungen treffen:

1. Die Rißerzeugung erfolgt nach einer Dauer von 6 min bis 3 Stunden, je nach Betondeckung und Bewehrungsdichte, sofern Konzentration der Salzlösung und Strom zur Elektrolyse ausreichen.

Die Verkürzung im Vergleich zur nicht beschleunigten Chlorid-Diffusion ist enorm: Nach Locher /15/ ist am Bauwerk bei 10 % Porenvolumen, 240 kg/m³ Zementgehalt und 20 mm sowie 40 mm Betondeckung eine Eindringdauer der Chlorid-Ionen von 7,1 bzw. 15,4 Jahren zu erwarten.

2. Zur Rißerzeugung ist eine Elektrizitätsmenge von mindestens 0,03 Ah bis maximal 0,310 Ah erforderlich bzw. eine elektrische Arbeit von 3 Wh bis etwa 316 Wh zu leisten, in der Originalarbeit /7/ wurde eine Obergrenze von 530 Wh gefunden.
3. Bei der gewählten Geometrie erfolgt die Rißbildung, wenn der Widerstand auf weniger als 125 Ω abgenommen hat; geringster beobachteter Widerstand 27 Ω . Widerstand baupraktisch feuchten Betons $\geq 50 \Omega$; mithin nimmt der Widerstand auf mehr als den 400sten Teil seines Ausgangswertes ab.
4. Die sich einstellenden Oberflächentemperaturen lagen zwischen 60 und 80 °C. Vor Versuchsende kommt es zu einer Temperaturerhöhung, deren Ursache noch unklar ist.
5. Während eine an die Rißbildung anschließende Lagerung in Kochsalzlösung nicht zu einer Änderung der Rißstruktur und des Betongefüges führt, konnte durch Frost-Tau-Wechsel ein völliger Zerfall des Betons erreicht werden. Hierzu sind Belegversuche erforderlich, insbesondere an hochwertigen Betonen.

Folgende Abhängigkeiten wurden beobachtet:

1. Je schneller der Strom zunimmt (der Widerstand abnimmt)
 - um so eher entstehen die Risse und
 - um so mehr Risse entstehen pro Zeiteinheit.
2. Rißentstehung und Temperatur an der Oberfläche hängen gesetzmäßig zusammen: Rückschlüsse auf die am Stahl vorhandene Temperatur sind möglich.

3. Die Rißentstehung erfolgt um so schneller und der Energieaufwand ist um so geringer, je kleiner die Betondeckung und je dichter die Bewehrung angeordnet ist.
4. Die Spaltzugfestigkeit des Betons über der Bewehrung vermindert sich um ca. 20 % bis max. 35 %.

6. Zusammenfassende Beurteilung des Verfahrens

Aufgrund der durchgeführten Tastversuche scheint sich das Verfahren der elektrochemisch beschleunigten Korrosion insbesondere zur Festigkeitsminderung von massigen Stahlbeton-Bauteilen oder -Bruchstücken mit hohem Bewehrungsanteil zu eignen.

Vorteile

Es ist

- ein abtragendes Verfahren (Oberflächen-Verfahren),
- großflächig anwendbar,
- geräuschlos, erschütterungsfrei, ohne Staub- und Rauchbelästigung, kostengünstig und hat einen geringen Energiebedarf,
- kein geschultes Bedienungspersonal erforderlich,
- nur eine geringe Gefährdung des Bedienungspersonals durch den elektrischen Strom vorhanden,
- störungsfrei in bezug auf Rundfunk und Nachrichtenübermittlung.

Nachteile

Es ist

- allein nicht zur vollständigen Zerstörung geeignet: ein zusätzlicher Abbruch mit Abbauhämmern scheint erforderlich zu sein,
- eine Versalzung des Bodens möglich,
- mit der Erzeugung von Knallgas verbunden,
- zeitaufwendig, wenn auch nicht in besonderem Maße,
- nur für Stahlbetonbauteile mit hinreichend dichtliegender Bewehrung anwendbar, daher möglicherweise aber für den Abbruch von Spannbeton-Reaktordruckbehältern interessant.

Anregungen für weitere Untersuchungen:

Es wird empfohlen, folgende weiterführende Untersuchungen zu veranlassen.

- Die Untersuchung massiger Stahlbetonblöcke mit unterschiedlichem Bewehrungsgehalt und unterschiedlicher Bewehrungsführung, etwa zunächst in den Abmessungen 0,60 m x 1,00 m x 1,00 m zum praktischen Vergleich: Abbruch mit Abbruchhammer mit und ohne elektrochemische Vorschädigung.
- Entwicklung von Elektrolyten, die korrosiv auf den Stahl (Chloride), treibend auf die Risse (Sulfate) und lösend auf den Zementstein (Säuren, Ester) wirken.
- Untersuchungen zur Temperatur an der Stahloberfläche
- Quantitative Untersuchungen zur Elektrolyse und zu den Korrosionsprodukten.

Braunschweig, den 23. September 1983

Literaturverzeichnis

- / 1/ Albrecht, R.: Moderner Abbruch.
Bauverlag, Wiesbaden und Berlin 1981.
- / 2/ Osebold, R.: Abbruch von Massivbauwerken.
Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln-Braunsfeld 1981.
- / 3/ Linder, R.: Schälen, Trennen und Abbrechen von Betonbauteilen.
Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin-München, 1982.
- / 4/ Centre Scientifique et Technique de la Construction:
Les techniques de demolition des ouvrages en beton
- Inventaire des procédés -
Brüssel, 1982.
- / 5/ Kleiser, K., Essig, K., Cerff, K. und Hilsdorf, H.K.:
Studie über den Abbruch von Spannbeton-Reaktordruckbehältern.
Deutscher Ausschuß für Stahlbeton, Heft 290
Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin 1977.
- / 6/ Spieß, W.E. und Hohn, L.: Untersuchung geräuscharmer Verfahren
zur Zerstörung von Mauerwerk und Beton als Alternativen zum
Sprengen mit Dynamit (Vorstudie).
Untersuchung im Auftrage des BMfT (O 1 VP 075 - V 13 NT S 1001)
Auftragnehmer Trapp Systemtechnik GmbH. 1976
- / 7/ Hachemi, A., Murat, M. und Cubaud, J.C.:
Recherche sur l'accélération de la corrosion des aciers
dans le béton armé.
Rev. Mat. Constr. 700, 1976, p. 149 - 155.

und

Recherches sur la corrosion accélérée des aciers dans le béton.
Rev. Mat. Constr. 702, 1976, p. 285 - 290.
- / 8/ Schwarz, G.: Die BRISTAR-Technologie.
Schweizer Sprengtechnik-Heft, Heft 5 (1981), S. 1 - 6
- / 9/ Kuhne, V. und Osebold, R.: Verfahrenswahl beim Abbruch von
Massivbauwerken.
Baumaschine und Bautechnik (BMT) 10 (1981), S. 517 - 521
- /10/ Vennat, M.: Demolition et destruction des bétons.
Moniteur T.P. Nr. 26 (1975), S. 85 - 90
- /11/ Cubaud, J.C., Ahmadi-Hachemi, A., Murat, M.:
Procédés de destruction des ouvrages en béton armé.
Mat. Constr. 10 (1976), S. 127 - 138
- /12/ La démolition du béton armé par l'électricité.
Travaux, Nr. 136, Februar 1946, S. 82
- /13/ Electric Thermal Expansion Aids Tough Concrete Drilling.
Construction methods and equipment, U.S.A., vol. 31,
no. 4, April 1949, S. 82 - 89

- /14/ Vers des brise-béton très silencieux,
Phase zéro, no. 4, avril 1973, p. 189
- /15/ Locher, F.W. und Sprung, S.: Einwirkung von PVC-Brandgasen auf Beton.
Beton 20 (1970), S. 63 - 65, S. 99 - 104.
- /16/ Krenkler, K.: Chemie des Bauwesens,
Bd. 1: Anorganische Chemie.
Berlin, Heidelberg, New York.1980
- /17/ Dehler, E.: Einwirkung von Weichmachern auf Beton.
Bauplanung - Bautechnik 18 (1964), S. 89 - 91
- /18/ Mündliche Mitteilung vom 10.06.1983:
Reiner Chemische Fabrik GmbH & Co, 7851 Pfalz
- Literaturrecherche zum Thema: "Abbruch(-Verfahren) von Massivbauwerken" des Informationsverbundzentrums Raum und Bau (IRB) der Fraunhofer Gesellschaft gemäß IRB-Auftrag Nr. 68980 vom 26.02.1982
 - DIN 32 510: Thermisches Trennen (Ausgabe Mai 1979) und Thermisches Abtragen (Entwurf Juli 1977)

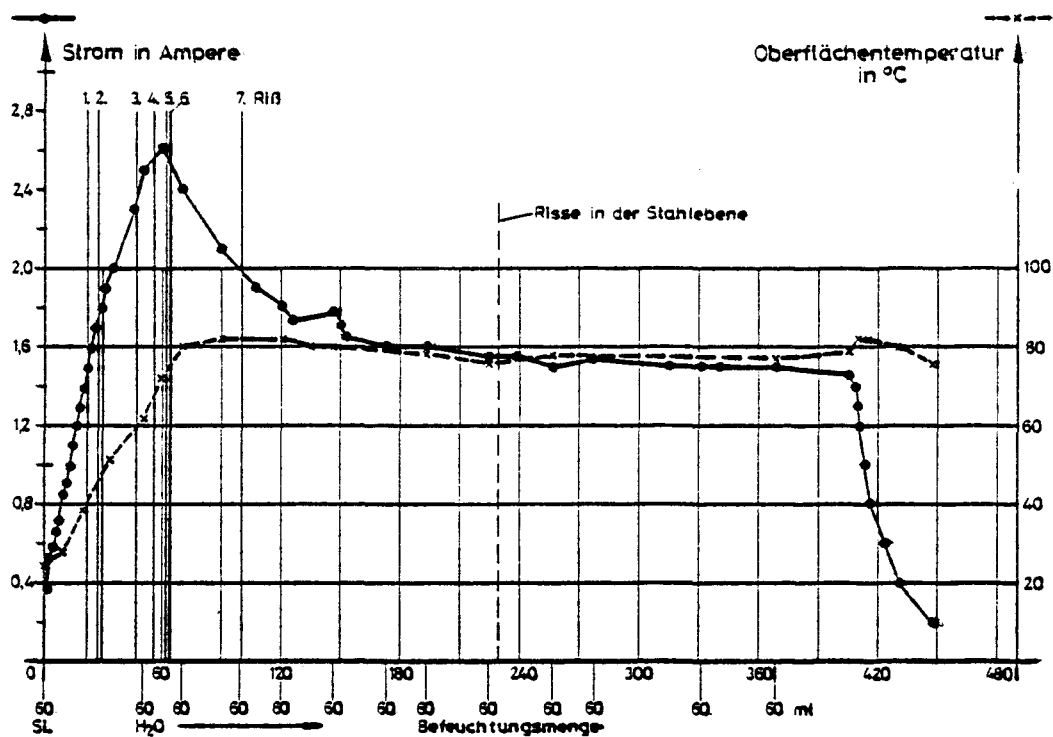


Bild 4: Versuchskörper 13
Betondeckung 22 mm

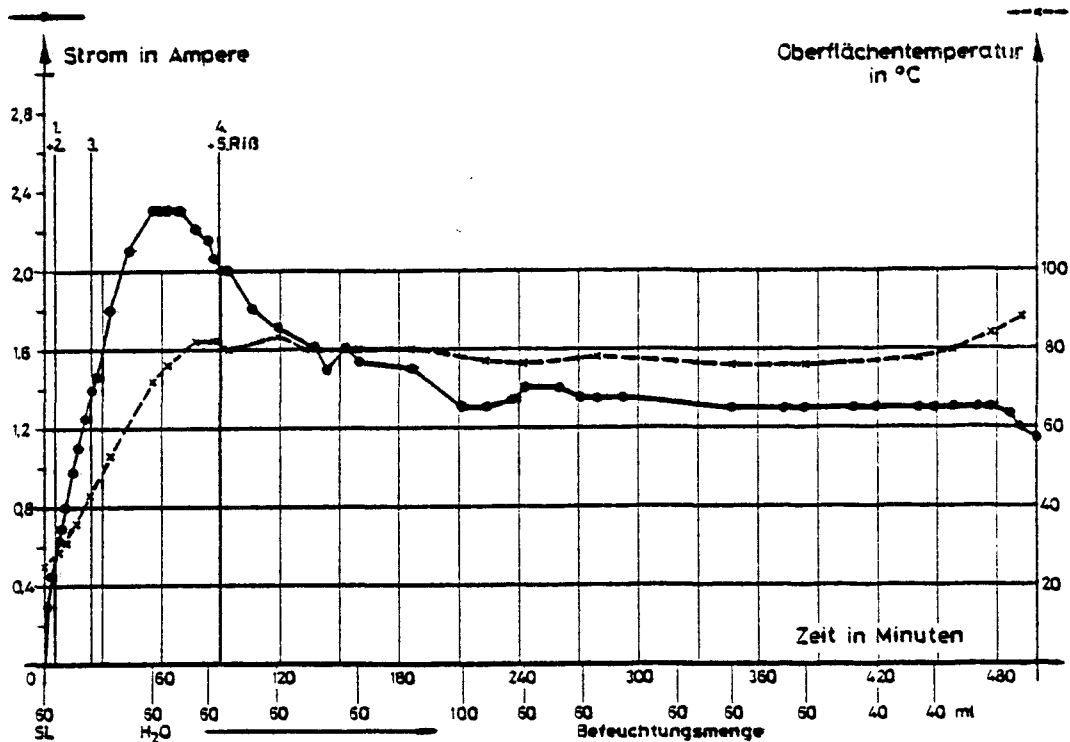


Bild 5: Versuchskörper 16
Betondeckung 22 mm

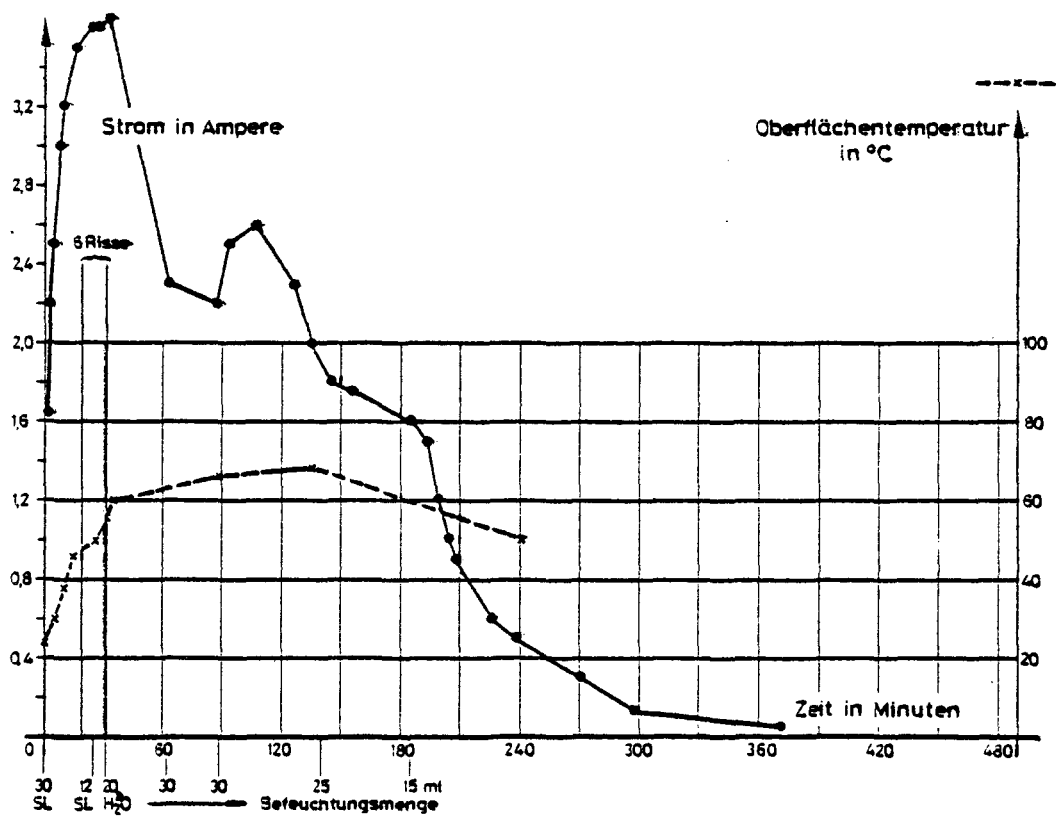


Bild 6: Versuchskörper 7
Betondeckung 30 mm

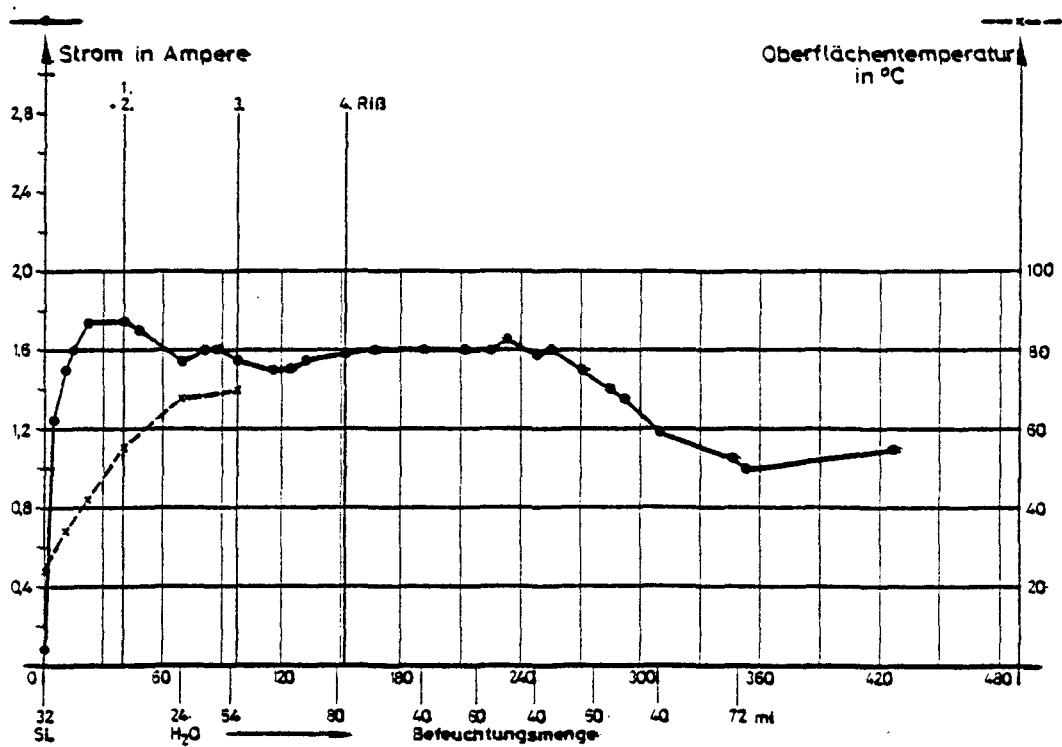


Bild 7: Versuchskörper 8
Betondeckung 30 mm

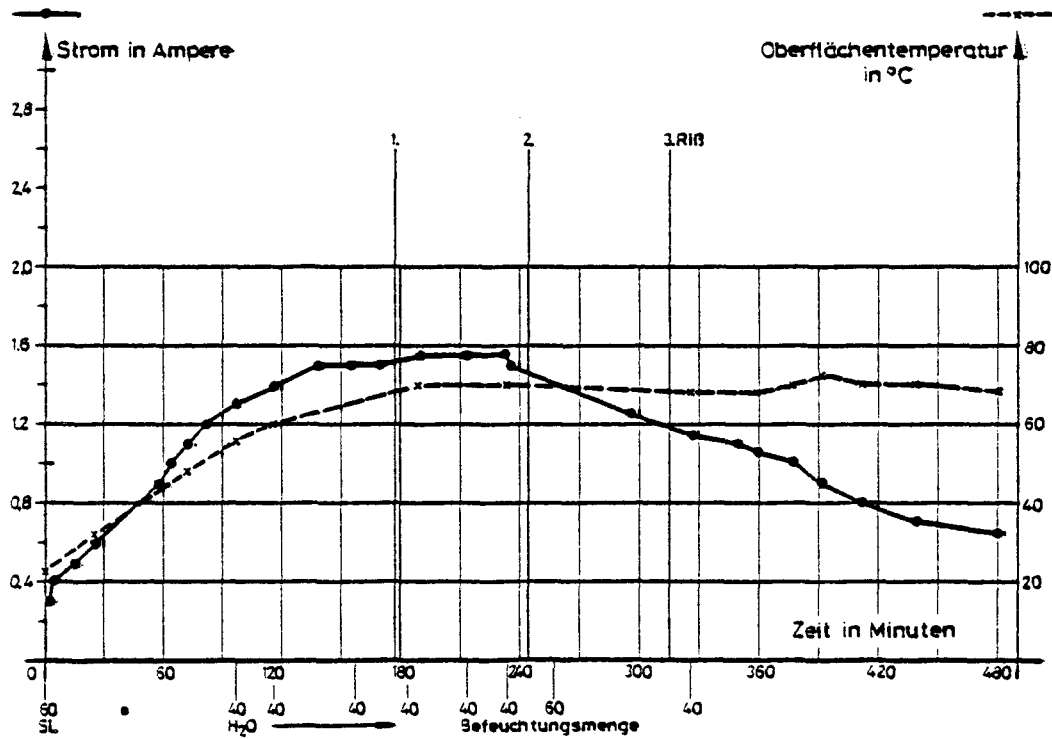


Bild 8: Versuchskörper 10
Betondeckung 40 mm

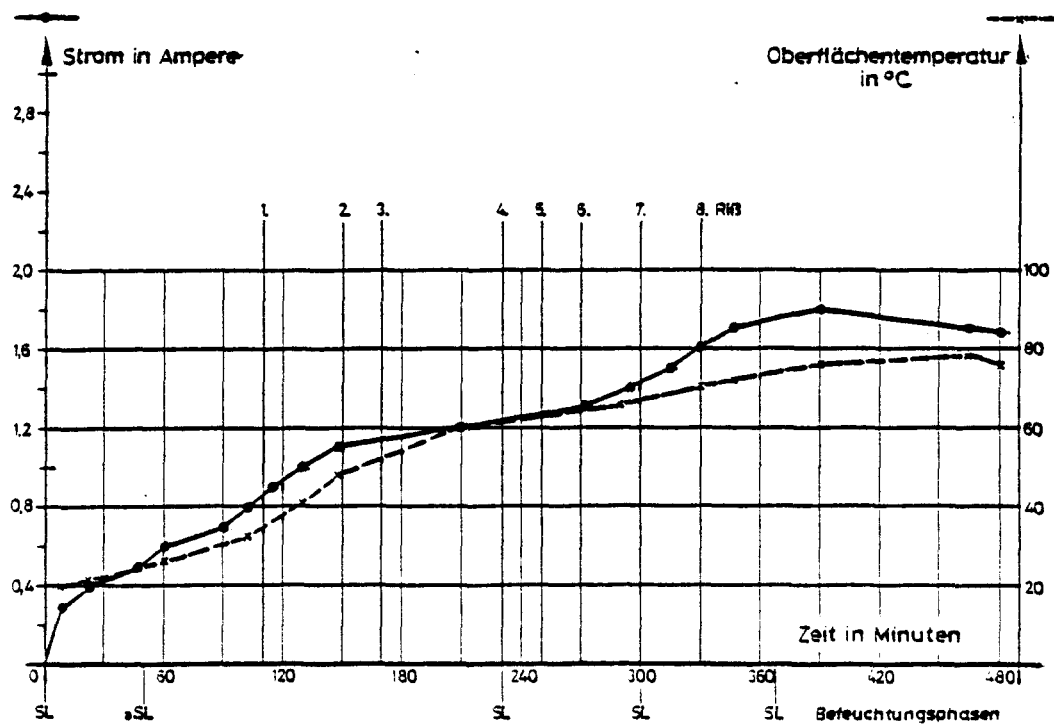


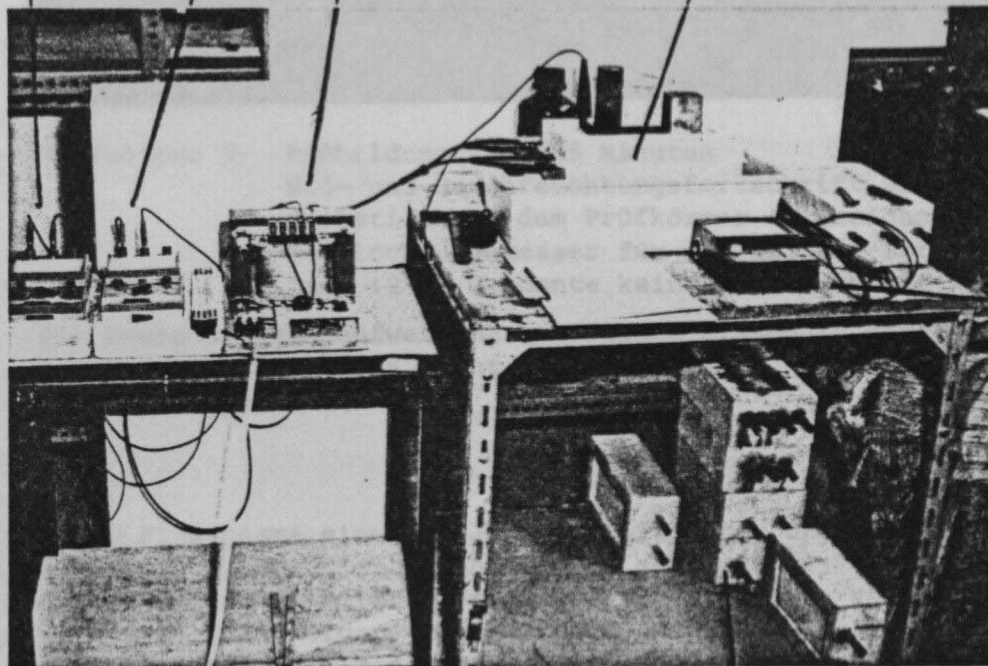
Bild 9: Versuchskörper 14
Betondeckung: von oben 22 mm
von unten ca. 50 mm

Strom und Spannungsmessung

Transformator
220 V/100 V
2,2 kW

Prüfkörper
(Katodenblech beschwert)

Temperatur-
meß-Gerät



Prüfkörper,
z.T. bereits untersucht
(Rostfahnen!)

Bild 10: Versuchsanordnung

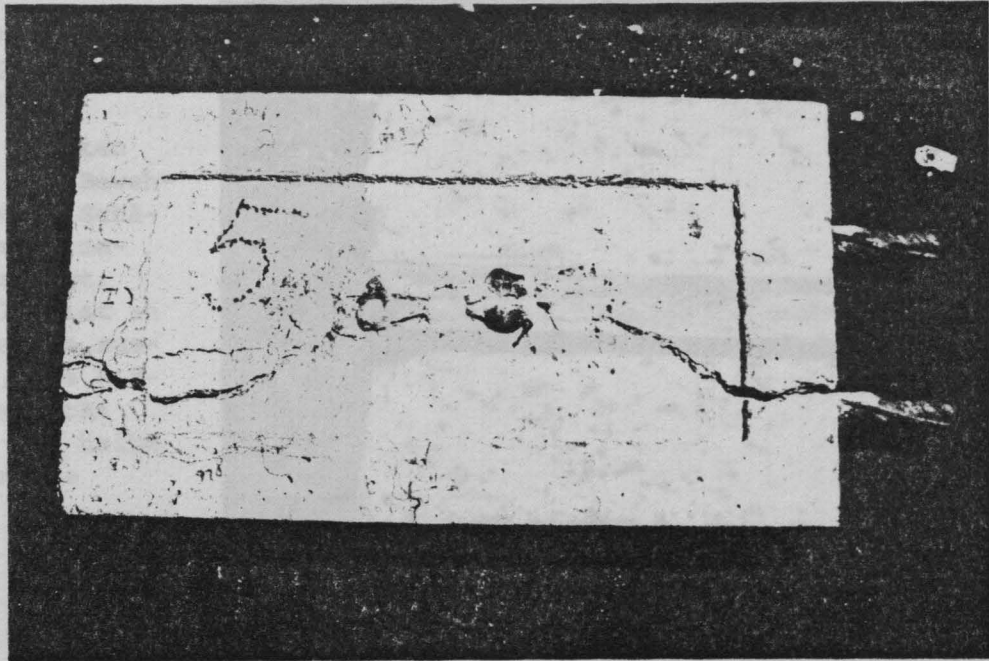


Bild 11: Prüfkörper 5: Rißbildung nach 85 Minuten
Riß- und Durchfeuchtungsfortschritt sind mit Farbstift auf dem Prüfkörper angezeichnet
Bohrlochdurchmesser für die BRISTAR-Sprengung 16 mm
(mit 12 mm Ø konnte kein Effekt erzielt werden)

Die beabsichtigte Aufweitung von feinen Rissen in vorgeschädigtem Beton kann mit BRISTAR nicht erreicht werden, weil dessen Quellmaß hierzu zu klein ist.

BRISTAR ist der Firmenname eines in Japan entwickelten Expansionsmittels auf Silikatbasis, das u.a. Brandkalk enthält. Das gebrauchsfertige Pulver wird i.a. mit 30 % Wasser zu einem Brei angerührt und dieser in vorgefertigte Bohr-
löcher gefüllt. Der Quellvorgang erfolgt ungewöhnlich langsam, s. Diagramm.
Nach Wirkungseintritt zerfällt das Mittel in ein feinkörniges wasserunschäd-
liches Pulver.

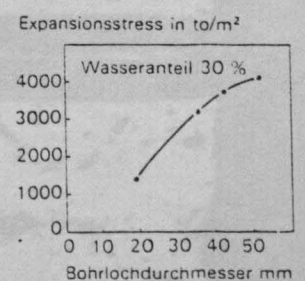
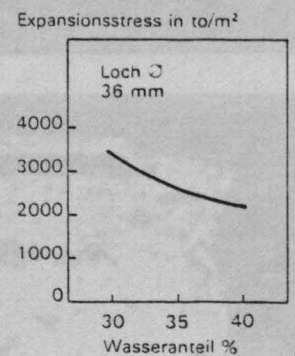
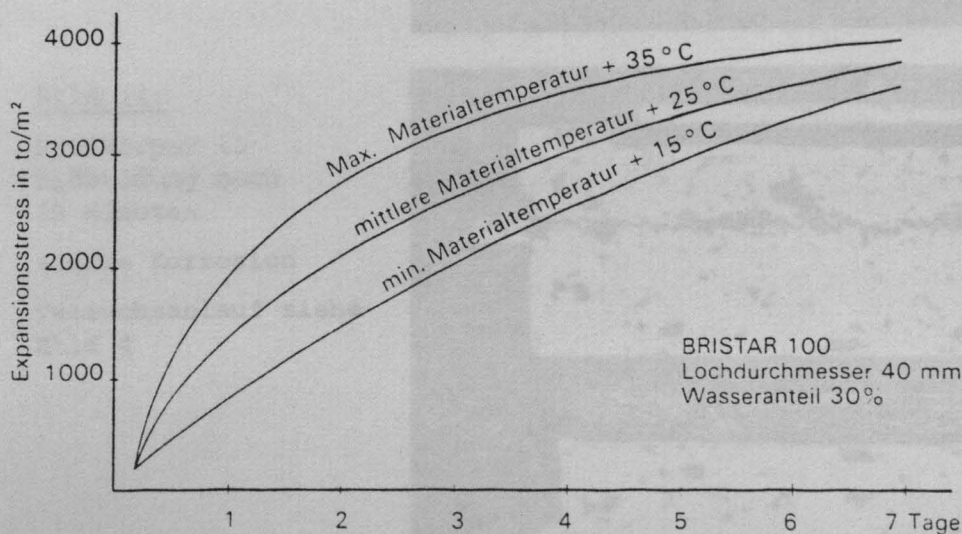


Bild 12:

Prüfkörper 2
Rißbildung nach
25 Minuten

Außer der starken
Korrosion der Beweh-
rung ist eine Schäd-
igung des Beton-
gefüges erfolgt:
der Zuschlag ist an
vielen Stellen aus-
gebrochen, die Riß-
fläche erstreckt
sich über die halbe
Prüfkörperhöhe

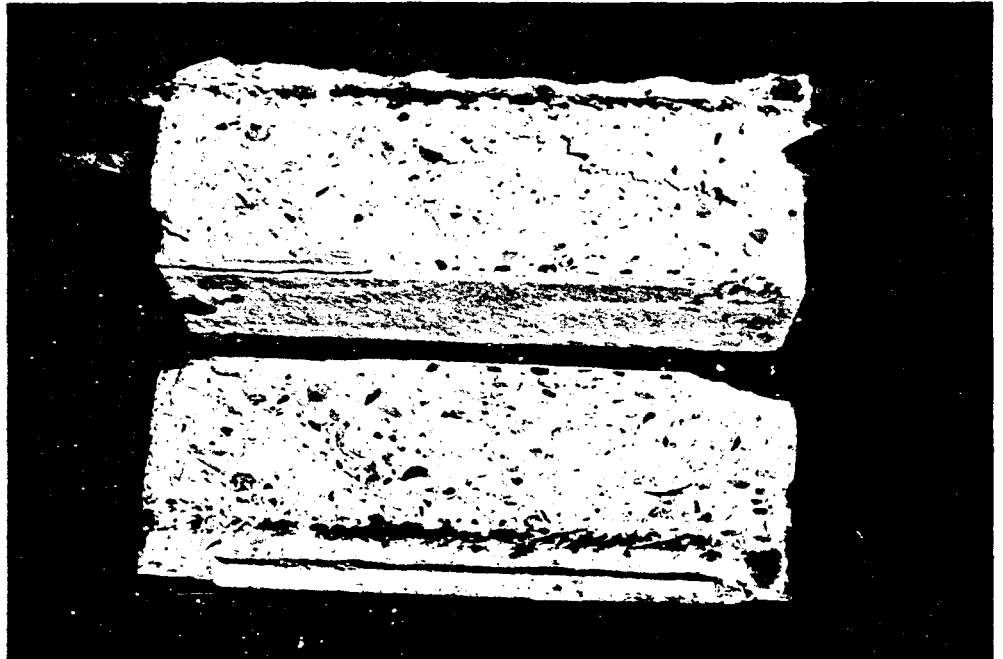


Bild 13:

Prüfkörper 8
Rißbildung nach
40 Minuten

Nach Korrosionsver-
such 28 Tage Lage-
rung in 10 %-iger
NaCl-Lösung. Es sind
auch Risse senkrecht
zur Prüfkörperlängs-
achse vorhanden.
Versuchsablauf siehe
Bild 7

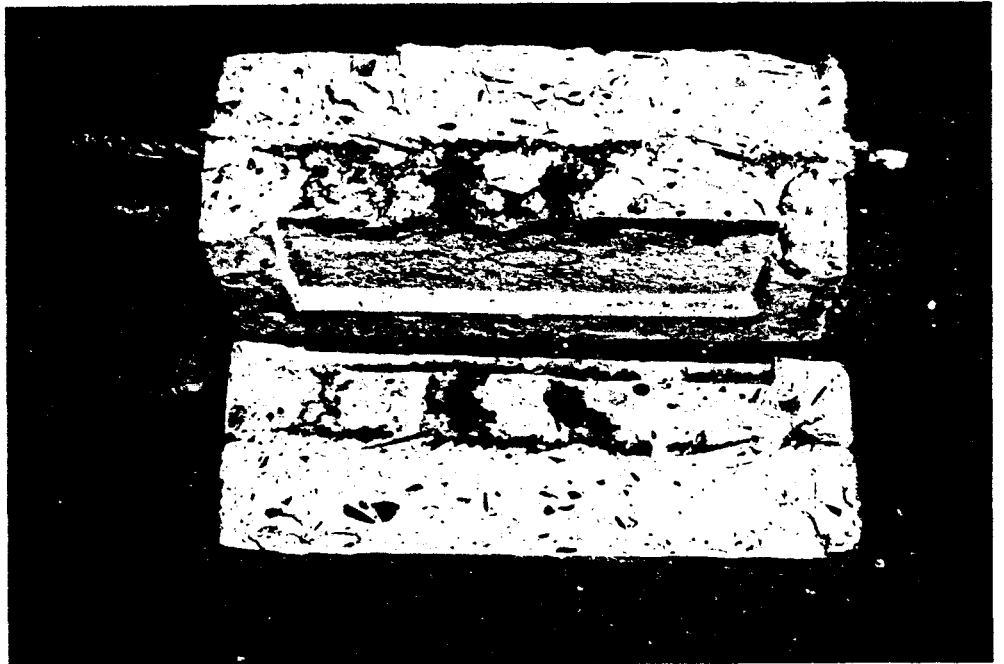


Bild 14:

Prüfkörper 13
Rißbildung nach
22 Minuten

starke Korrosion
Versuchsablauf siehe
Bild 4

